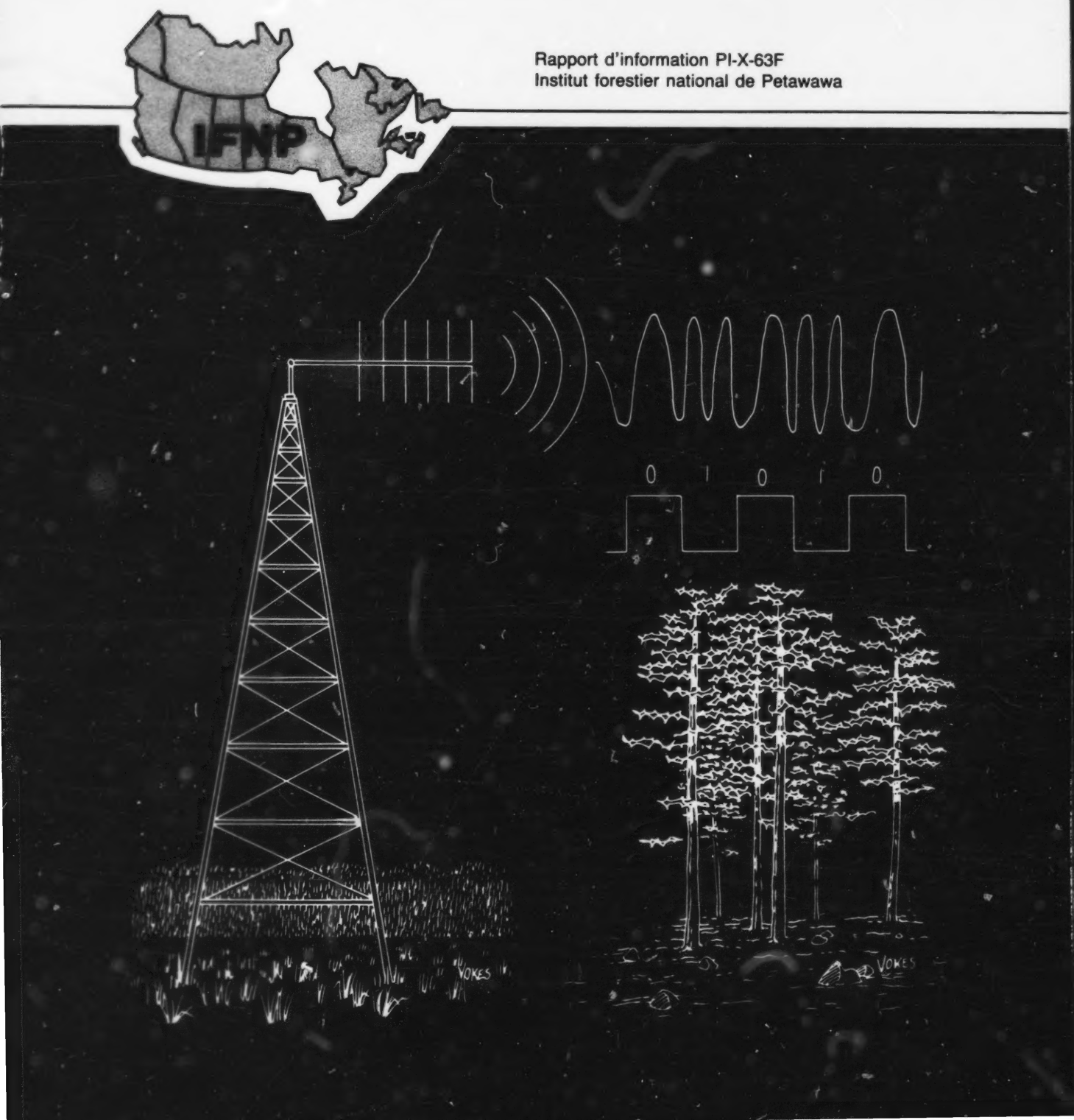
Gouvernement du Canada
Government of Canada

Service canadien des forêts
Canadian Forestry Service

Transmission de données forestières par radio à ultra-haute fréquence

B.E. Mroske et P.H. Kourtz

Rapport d'information PI-X-63F
Institut forestier national de Petawawa



87-03784/

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa, comme celui des autres établissements du Service canadien des forêts, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des activités des programmes menés à l'institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessistent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales du Service canadien des forêts. La plupart du temps, ses recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux ou des services forestiers des provinces. Les projets de recherche et les services techniques de l'institut sont regroupés sous six principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE - Ce programme encadre des projets sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à la clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Ce centre existe depuis longtemps et est lié à plusieurs organismes internationaux.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER - Ce programme intègre en recherche et développement, des projets sur les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance et la récolte, et le RIMA. Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LA RESSOURCE FORESTIÈRE - Communément appelé FORSTATS, ce programme assure la coordination de l'acquisition, de la normalisation et de la publication de statistiques nationales sur les forêts du Canada. Il est aussi chargé de répondre aux demandes de renseignements de la clientèle.

SYSTÈMES DE DONNÉES FORESTIÈRES - Ce programme fournit la compétence et les systèmes informatisés nécessaires à la gestion des données acquises dans le cadre de FORSTATS et des projets de recherche à l'IFNP. Il comprend en outre un service de consultation en informatique pour les hauts fonctionnaires du SCF.

COMMUNICATIONS - Ce programme regroupe les activités de la bibliothèque et des projets touchant la sensibilisation du public, l'information, la rédaction-révision et les publications. L'institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt national de toutes les publications scientifiques du SCF.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE - Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre de projets de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 98 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Ces plantations expérimentales permettent d'obtenir des données sur la croissance et la récolte à la suite d'expériences de culture. Elles fournissent du matériel génétique dont le lignage est répertorié, et se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. La forêt permet également de mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long terme.

TRANSMISSION DE DONNÉES FORESTIÈRES PAR RADIO À ULTRA-HAUTE FRÉQUENCE

Rapport d'information PI-X-63F

B.E. Mroske et P.H. Kourtz

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Chalk River (Ontario)

1986

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1986
N° de catalogue Fo46-11/63-1986F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-93891-7

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

N° de téléphone: 613-589-2880

This publication is also available in English under the title **UHF Radio Transmission of Forestry Data.**

Table des matières

v	Résumé/Abstract
1	Introduction
2	Problèmes de transmission des données aux fins de gestion des incendies de forêt
4	Objectifs
5	Conception du système
8	Exigences relatives à l'obtention d'une licence
9	Installation du système expérimental de télémesure
16	Résultats
19	Discussion
20	Remerciements
20	Références
22	Annexe I
23	Annexe II

RÉSUMÉ

Les organismes canadiens qui s'occupent de la gestion des incendies de forêt emploient des systèmes automatisés de collecte qui recueillent des données dans les endroits éloignés et les transmettent à des centres de façon continue ou quasi-continue. Ces systèmes exigent des services spécialisés de communication des données, et leur utilité peut être considérablement réduite s'il n'existe pas de services pour les stations de collecte prioritaires.

Une étude a été effectuée dans le but de savoir s'il était possible de transmettre continuellement par radio UHF, à longue et à moyenne distances, des données recueillies dans les régions éloignées. Un système de communication des données par radio UHF a été mis au point et à l'essai. Le but visé consistait à transmettre continuellement, sur une distance de 90 kilomètres, des données sur la foudre. Le rendement du système a été contrôlé et comparé à celui d'un système parallèle de communications par voie terrestre.

Les premiers résultats indiquent que, pour une période de temps limitée, les données peuvent être transmises continuellement de façon économique et fiable, grâce au système de communication par radio UHF décrit. Si le système s'avère fiable à long terme, il sera possible de l'utiliser pour la communication des données, compte tenu des principaux facteurs suivants: la rentabilité des applications spéciales, la capacité de soutien et la disponibilité de radio-fréquences.

ABSTRACT

Canadian forest fire management agencies use automated data collection systems that collect and transmit data from remote locations to central sites on a continuous or near-continuous basis. These systems require dedicated data communication services. The absence of data communication services for preferred data collection sites can severely limit the usefulness of these systems.

A study was conducted to determine the feasibility of using UHF radio for continuous medium and long distance data transmission from remote areas. An UHF radio data link was configured and implemented. The system was designed to transmit lightning information continuously over a distance of 90 km. The performance of the radio link was monitored and compared to a parallel land line.

Initial results indicate that, for a limited time period, data can be economically and reliably transmitted on a continuous basis by the UHF radio link described in this paper. If the system exhibits long term reliability it will be a feasible data communication alternative. The economics of particular applications, support capability, and radio frequency availability are the major factors that will determine the feasibility of transmitting data by radio.

TRANSMISSION DE DONNÉES FORESTIÈRES PAR RADIO À ULTRA-HAUTE FRÉQUENCE

INTRODUCTION

Les organismes canadiens de gestion des incendies de forêt utilisent des systèmes automatisés d'acquisition de données et continuent à en mettre de nouveaux en oeuvre. Ces systèmes et les notions auxquelles ils font appel, comme le traitement centralisé des informations, sont incorporés, à divers niveaux, dans une organisation de protection contre les incendies et exigent souvent des systèmes perfectionnés de transmission de données à l'appui. Dans certaines situations, le manque de souplesse, le coût, la complexité ou l'absence de services de transmission de données limitent gravement l'utilisation de systèmes de collecte de données à distance.

Ces problèmes de transmission de données sont particulièrement critiques pour les applications nécessitant le mouvement des données en direction ou en provenance de zones peu peuplées. Comme les organismes de lutte contre les incendies de forêt sont chargés de protéger de vastes zones éloignées du Nord canadien, ils ont souvent besoin d'obtenir des données d'endroits éloignés. Les données telles que l'emplacement des coups de foudre nuage-sol, sont saisies à un endroit éloigné et transmises à un centre de planification et de prise de décisions. La transmission des données peut être pratiquement continue pendant les gros orages. Dans ce type d'application, les solutions de rechange en matière de transmission de données sont limitées, sinon, dans certains cas, inexistantes.

Des lignes téléphoniques interurbaines affectées en propre servent normalement à la transmission des données. Toutefois, les organismes peuvent avoir de la difficulté à obtenir une seule paire de fils pour transmettre les données d'un point de collecte éloigné à un point central. Si elles sont disponibles, les lignes téléphoniques peuvent être de location très coûteuse, et peu fiables, à cause du bruit de ligne. Les systèmes à satellites et à traînées météoriques ionisées (Meteor Communications Consultants 1981) peuvent servir pour la transmission à longue distance à partir d'emplacements éloignés. Ces systèmes utilisent le spectre des radiofréquences (RF) (figure 1) comme milieu de transmission des données. Le satellite et la traînée météorique jouent le rôle de répéteurs radio. Des installations de télécommunication par satellite affectées en propre sont beaucoup trop coûteuses et la technique des impulsions météoriques est limitée par la durée des traînées météoriques. Aux fins de protection des forêts, ces systèmes se sont avérés des solutions de rechange réalisables quand les applications supposent des quantités limitées de données, par exemple pour la transmission de données de stations météorologiques éloignées.

L'utilisation des ondes RF pour la transmission des données s'est récemment accrue. En plus des systèmes à satellite et à impulsions météoriques, d'importants progrès ont eu lieu en ce qui concerne l'utilisation des ondes RF pour la transmission terrestre de données sur faible distance. Ces réseaux locaux présentent des possibilités semblables à celles de certains systèmes perfectionnés de transmission par câble. Les notions de partage des

fréquences (multiplexage) et d'interrogation de stations éloignées sont utilisées. En outre, les réseaux peuvent fonctionner en tant que services mobiles. Le milieu de transmission est une radiofréquence plutôt qu'un câble. Des circuits électroniques servent à inclure les données dans la radiofréquence en modifiant systématiquement une caractéristique de l'onde radiofréquence, comme l'amplitude, la fréquence ou la phase, d'une manière qui peut représenter des données numériques. Les fréquences les plus couramment utilisées se trouvent dans la gamme des très hautes fréquences (VHF) et des ultra-hautes fréquences (UHF) (tableau 1).

La transmission terrestre de données par radio VHF/UHF peut constituer une solution possible à certains problèmes de transmission de données sur la protection contre les incendies de forêt. Le spectre radioélectrique est habituellement moins encombré dans les régions isolées; l'approbation des demandes d'utilisation des radiofréquences en serait facilitée. Par conséquent, la disponibilité des radiofréquences VHF et UHF augmente en fonction de l'éloignement d'une application. Les organismes de gestion des incendies exploitent ordinairement des réseaux de radiocommunications en phonie perfectionnés et de grande envergure. Les ressources et les installations associées aux réseaux de radiocommunications en phonie, telles que les fréquences, les appareils radio, la compétence en matière de radiocommunications, la configuration des répéteurs, le matériel d'essai et l'analyse du trajet des signaux peuvent aussi s'appliquer aux systèmes radio de transmission de données. En outre, les appareils radio sont portatifs et peuvent servir pour le service mobile de transmission de données.

L'Institut forestier national de Petawawa (IFNP), en collaboration avec la Société de conservation de l'Outaouais (SCO) de Maniwaki (Québec), a lancé une étude visant à aider à déterminer le rôle de la radio dans la transmission de données à longue et à moyenne distances, à partir de régions éloignées. Un système UHF de télémesure a été conçu et mis en oeuvre pour la transmission de données par radio. Le présent document donne l'historique des problèmes particuliers de transmission de données, mentionne les objectifs de l'étude, décrit la conception et la mise en oeuvre du système de télémesure et enfin présente et discute les résultats de l'étude.

PROBLÈMES DE TRANSMISSION DES DONNÉES AUX FINS DE GESTION DES INCENDIES DE FORÊT

Les besoins en matière de transmission de données associés aux activités de gestion des incendies de forêt sont nombreux. Les applications particulières décrites ci-dessous donneront une idée des problèmes rencontrés.

Des détecteurs de foudre à microprocesseur sont installés à travers le Canada pour fournir des informations en temps réel sur les caractéristiques et l'emplacement des coups de foudre au sol. Ces informations sont vitales pour la planification et la prise de décision quotidiennes. Les détecteurs sont placés de manière stratégique dans des régions boisées, de sorte à maximiser leur couverture et leur précision. Les microprocesseurs (goniomètres) éloignés sont en liaison avec un microprocesseur central (analyseur de position) qui calcule les emplacements des coups de foudre, si les critères de temporisation sont respectés. Les données sont habituellement transmises par

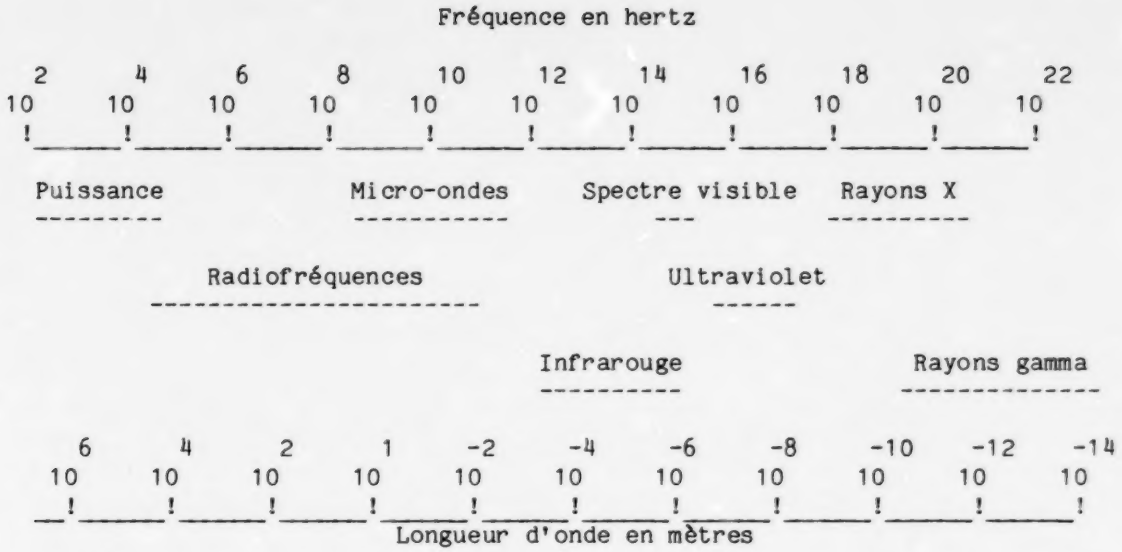


Figure . Spectre électromagnétique. Les chevauchements indiquent que certaines longueurs d'onde peuvent être produites par différentes techniques.

Tableau 1. Spectre des radiofréquences

Fréquences	Longueur d'onde	Classification
Moins de 30 kHz	Plus de 10 000 m	Très basses fréquences, VLF (ondes myriamétriques)*
30 à 300 kHz	10 000 à 1000 m	Basses fréquences, LF (ondes kilométriques)*
300 kHz à 3 MHz	1000 à 100 m	Moyennes fréquences, MF (ondes hectométriques)*
3 à 30 MHz	100 à 10 m	Hautes fréquences, HF (ondes décamétriques)*
30 à 300 MHz	10 à 1,0 m	Très hautes fréquences, VHF (ondes métriques)*
300 à 3000 MHz	1,0 à 0,1 m	Ultra-hautes fréquences, UHF (ondes décimétriques)*
3 à 30 GHz	0,1 à 0,01 m	Super-hautes fréquences, SHF (ondes centimétriques)*
30 à 300 GHz	0,01 à 0,001 m	Extra-hautes fréquences, EHF (ondes millimétriques)*

*Classification internationale selon l'UIT (N. d. T.).

ligne terrestre dans une configuration de point à point ou une configuration d'interrogation. Les vitesses de transmission requises vont de 300 à 2400 bauds (de 30 à 240 caractères par seconde). L'absence d'installations de transmission de données pour des emplacements souhaités de détecteurs résulte en des réseaux de détection de la foudre moins efficaces ou, dans certains cas, en l'absence complète de couverture du système de détection de la foudre. Les radiocommunications pourraient, dans de nombreuses circonstances, améliorer la couverture du système de détection de la foudre.

Un radar météorologique numérique bon marché a été mis au point par l'Université McGill, pour le compte du Service canadien des forêts. La conception du radar permet de l'installer à un endroit éloigné. Un microprocesseur se trouvant à l'emplacement du radar transmet sous forme numérique la pluviosité toutes les 2 minutes et demies, pour environ 8000 éléments d'échantillonnage. Un micro-ordinateur installé en un endroit central reçoit les données et commande le fonctionnement du radar. La liaison entre les deux micro-ordinateurs nécessite une vitesse de transmission de données de 1200 bauds. Idéalement, la sélection de l'emplacement radar serait déterminée par la portée efficace, la couverture nécessaire et l'effet du terrain. Toutefois, comme dans le cas des données sur la foudre, l'absence d'installations de transmission de données peut limiter le radar à des emplacements non souhaitables. Les radiocommunications permettraient plus de souplesse.

Des progrès ont sans cesse lieu en matière de mise au point de systèmes d'appui à la prise de décisions fondés sur l'ordinateur, aux fins de gestion des incendies de forêt. Les terminaux informatiques, les micro-ordinateurs et les mini-ordinateurs deviennent courants dans les centres de coordination ou de commande. Divers matériels et logiciels existent pour aider les décideurs. Les progrès continuels, de concert avec l'amélioration des informations de bases de données, vont entraîner une demande d'appui informatique en direct aux emplacements d'incendies de forêt. Les applications comprendraient des modèles de comportement des incendies et la détermination des effets des tactiques projetées de lutte contre les incendies. Ces applications nécessiteront des systèmes mobiles de transmission de données. Pour le moment, la transmission des données par radio est la seule solution de rechange possible.

OBJECTIFS

Les applications ci-dessus nécessitent des systèmes de transmission de données de niveaux de complexité différents. Dans des conditions d'orage, par exemple, un système de données sur la foudre de point à point transmettra presque continuellement en mode simplex. (Le mode simplex signifie la transmission des données dans un seul sens, tandis que le mode duplex signifie la transmission des données dans les deux sens.) L'application radar nécessitera une liaison de données continue en duplex. Les systèmes de données sur la foudre à interrogation ont besoin du mode duplex (transmission simultanée dans les deux sens). Les terminaux aux emplacements des incendies auront besoin de pouvoir transmettre les données en duplex et de fonctionner comme des systèmes mobiles. Le système de télémesure décrit dans le présent document est un système simplex conçu pour capter les données sur la foudre au moyen de la

radio UHF. L'une des principales préoccupations vise la possibilité d'établir une liaison radio à moyenne distance qui transmette avec fiabilité les données, de manière continue ou quasi-continue. Si on le désire, des caractéristiques perfectionnées telles que l'interrogation ou le duplexage pourraient être incorporées au système.

L'étude avait quatre objectifs principaux. Le premier consistait à concevoir un système théorique qui pourrait être présenté sous forme d'un mémoire technique au ministère des Communications fédéral (MDC). Le deuxième était d'obtenir l'approbation du système par le MDC et une licence. Le troisième était de mettre en oeuvre l'infrastructure et d'installer le matériel. Le dernier touchait l'évaluation de la performance du système et de ses possibilités aux fins d'exploitation.

CONCEPTION DU SYSTÈME

Parmi les divers systèmes examinés, le système conçu et utilisé par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (Meldrum 1980) semblait le plus approprié en ce qui concerne les incendies de forêt. Le système utilisait la radio UHF pour capter des données séismologiques d'endroits éloignés. Les caractéristiques souhaitables du système comprenaient le faible coût, la faible consommation d'énergie, une vitesse de fonctionnement pouvant aller jusqu'à 4800 bauds (500 caractères/seconde), la simplicité de la configuration des répéteurs, une fréquence d'exploitation acceptable et un mode numérique d'exploitation. L'annexe I donne une brève explication des principes des radiocommunications numériques et de la modulation.

Le système de l'EMR est un appareil radio Repco[1] modifié, homologué comme appareil EMR-100 pour la bande de 450 à 470 MHz. Les circuits de traitement des signaux vocaux de l'appareil étaient remplacés par des circuits modulateurs et démodulateurs FSK conçus par l'EMR. Les premiers bits d'information d'un message sont utilisés par le démodulateur pour déterminer si la fréquence d'exploitation a dérivé ou non. Le traitement du signal est réglé en conséquence. Ce processus peut être considéré comme l'accord automatique continuel du cadran d'une station radio pour obtenir la meilleure réception. Le contrôle des bits initiaux d'information entraîne la perte de plusieurs des premiers caractères, à chaque fois qu'un message est lancé. On pourrait éviter le problème en ajoutant un préambule de données au message; toutefois, vu la nature et la diversité des applications forestières, le problème a été résolu en modifiant la conception du circuit démodulateur.

Un module d'interface numérique remplace le module amplificateur audio de l'émetteur radio. Ce module engendre des niveaux de tension de travail et de repos. Le niveau de tension obtenu est appliqué au module modulateur/oscillateur FM de l'émetteur, de sorte que l'appareil radio produise le signal FM approprié. Les circuits existants du récepteur ne sont pas modifiés. Le démodulateur est simplement ajouté au récepteur. Le circuit produit des données de sortie suivant la norme RS232. Le récepteur et l'émetteur modifiés ont été présentés aux fins d'homologation dans la bande 406-420 MHz. Le matériel est illustré aux figures 2 et 3.

---

[1]Repco Incorporated, Orlando (Floride).

Figure 2. Émetteur radio

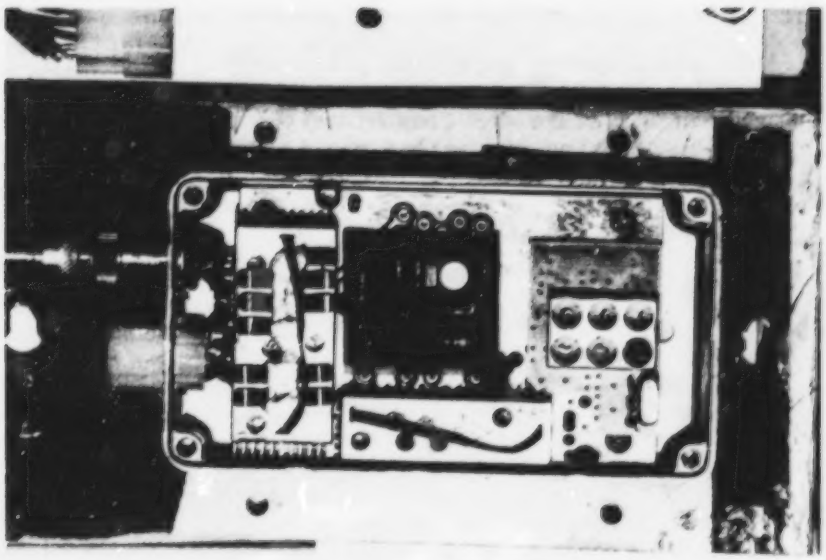
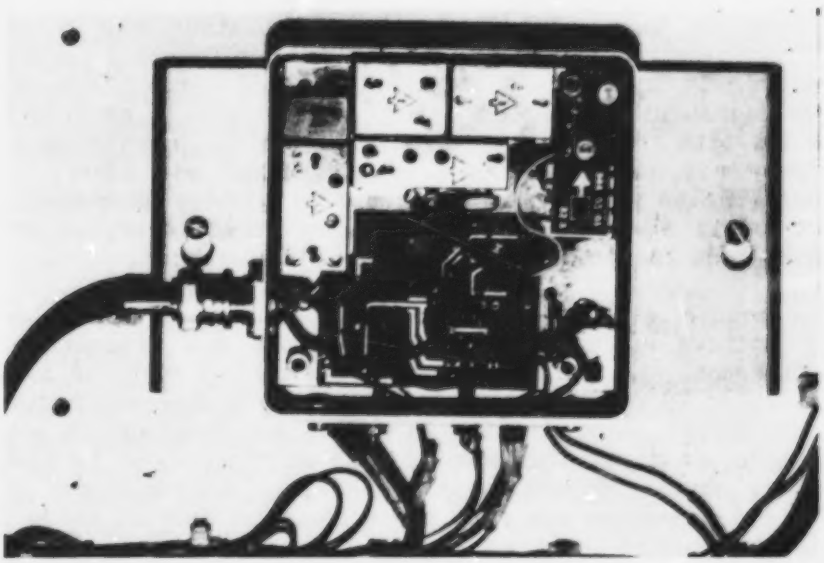


Figure 3. Récepteur radio



Le paragraphe qui suit discute les aspects <<transmission par radio>> du système de télémesure. L'annexe II décrit brièvement certains principes de transmission par radio.

Les émetteurs Repco 819 ont une gamme de puissances de sortie allant de 0,2 à 4 watts. Ils peuvent fonctionner de manière continuelle à une puissance de sortie égale à la moitié de leur puissance nominale maximale. Des émetteurs de puissance nominale de 1 à 2 watts ont été utilisés pour utilisation continue à 1 watt de puissance de sortie, soit un gain de 0 dBW. L'émetteur consomme environ 300 mA quand il émet à une puissance de 1 watt. L'antenne proposée était une antenne Yagi SRL-307[1] à 7 éléments, de gain nominal de 10,0 dB. Dans certains cas, 2 antennes ont été superposées pour obtenir un gain de 12 dB. Le rayonnement efficace allait de 8 à 10 dBW, suivant l'emplacement d'émission. Le récepteur a aussi été couplé à une antenne SRL-307 fournissant un gain supplémentaire de 10 dB. Le niveau minimal de signal exigé au récepteur était de -137 dBW. Ce niveau minimal correspond au niveau pour lequel l'appareil ne peut pas différencier le signal et le bruit produit à l'intérieur du récepteur. La perte admissible totale de signal est d'environ 150 dB (sensibilité du récepteur plus le gain des deux antennes, moins les pertes dans les câbles). En théorie, à 410 MHz et avec une marge exigée de protection contre les évanouissements de 25 dB au récepteur, le système pourrait fournir des bonds atteignant 160 kilomètres en trajet terrestre, si l'affaiblissement en espace libre (perte de signal dû à la distance entre les antennes, sans obstacle présenté par la Terre ni l'atmosphère) était le seul affaiblissement sur le trajet. Toutefois, la distance que l'on peut atteindre est habituellement considérablement inférieure à 160 kilomètres, à cause de la courbure de la Terre, du terrain et des effets atmosphériques.

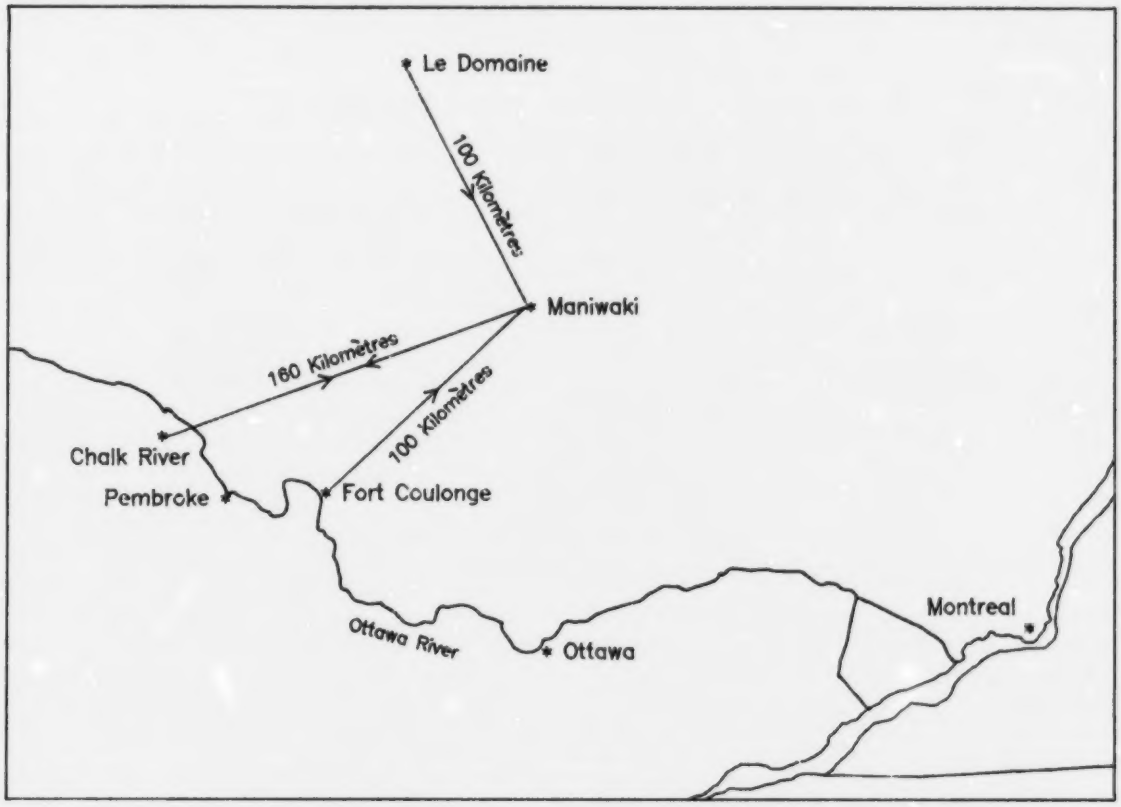
Il a été proposé d'établir trois liaisons radio dans le sud-ouest du Québec. Deux liaisons, en mode simplex, seraient réservées à la capture des données sur la foudre en temps réel. La transmission se ferait de Fort Coulonge à Maniwaki et de Le Domaine à Maniwaki. Chaque liaison représente une distance en ligne droite d'environ 100 kilomètres. La troisième liaison était une liaison duplex entre Petawawa (Ontario) et Maniwaki (Québec), soit une distance à vol d'oiseau de 160 kilomètres. Cette liaison était destinée à appuyer les calculs interactifs et l'échange de données entre les mini-ordinateurs PDP11 à Petawawa et à Maniwaki. La liaison entre Le Domaine et Maniwaki a été mise en oeuvre et est discutée en détail. Les autres liaisons n'ont pas été mises en oeuvre, mais faisaient partie de la proposition du système de télémesure UHF présentée au ministère des Communications fédéral (se reporter à la figure 4).

La topographie de la région présentait de sérieux problèmes pour les communications UHF. La région se caractérise par un terrain ondulant, présentant de nombreux pics et arêtes. Il était difficile d'obtenir des trajets de signal de plus de 50 kilomètres sans graves problèmes d'affaiblissement. En outre, l'emplacement de réception se trouvait dans une vallée. Les calculs de trajet ont montré que deux répéteurs étaient nécessaires pour la liaison de données sur la foudre entre Fort Coulonge et Maniwaki, et trois pour les deux autres liaisons. Une application et une région plus favorables aux communications UHF simplifieraient la configuration, mais les problèmes de terrain et

---

[1]Sinclair Radio Laboratories Inc., Montréal (Québec).

Figure 4. Liaisons radio projetées



d'emplacement de réception décrits ci-dessus sont courants dans l'ensemble des régions forestières du Canada. Par conséquent, la conception proposée était réaliste.

EXIGENCES RELATIVES À L'OBTENTION D'UNE LICENCE

Le ministère des Communications fédéral assigne les fréquences, autorise la mise en oeuvre des systèmes radio et contrôle les émissions radio. Aux fins de l'étude, deux mémoires importants ont été présentés au ministère afin d'obtenir l'autorisation d'installer et d'exploiter le système de télémesure.

Le premier document présenté était un rapport technique (Chinnick, 1982), à l'appui d'une demande de certification de matériel radio. La certification du matériel radio signifie que le matériel est conforme aux spécifications techniques, aux normes ou aux exigences établies par le MDC. Étant donné qu'aucun matériel semblable n'avait encore été certifié pour la modulation directe par déplacement de fréquence dans la bande de 406 à 420 MHz, il était nécessaire de démontrer que les appareils radio modifiés respectaient les normes du MDC. Le rapport décrit les résultats d'une série d'essais. Les essais ont été effectués en conformité de la Procédure sur les normes radioélectriques numéro 100, le Cahier des charges sur les normes radioélectriques numéro 120 servant de guide. Les essais ont été effectués et certifiés par la compagnie Foundation Electronic Instruments Inc., d'Ottawa (Ontario). Les

essais de l'émetteur portaient sur la puissance de sortie de la porteuse RF non modulée, sur les caractéristiques d'émissions non essentielles et sur la stabilité de la fréquence porteuse. Les essais du récepteur portaient sur les signaux non essentiels de sortie. Les appareils radio modifiés ont été certifiés sous le numéro DOE-406.

Le deuxième document était un mémoire technique (Mroske et Bussière, 1983), décrivant le système de télémesure projeté. Le mémoire comprenait la justification du système, une demande de fréquences, l'agencement du système, les spécifications du matériel, les détails sur l'emplacement et une demande de licence en vue d'exploiter le système de télémesure. Les conversations tenues avec le personnel du MDC avant la demande officielle avaient indiqué qu'il était peu probable que l'on puisse obtenir l'utilisation de fréquences VHF pour la région en question et que des fréquences UHF seraient probablement disponibles dans la bande 406 à 420 MHz. La recommandation officieuse du MDC, ainsi que l'immunité relative des UHF au bruit en temps d'orage ont déterminé la gamme de fréquences d'exploitation. La demande portait sur l'utilisation de 10 paires de fréquences dans la bande 406 à 420 MHz et l'autorisation a été donnée pour 6 paires de fréquences.

Les liaisons projetées sont actuellement desservies par lignes téléphoniques. Ce sont des raisons d'économie et de fiabilité qui ont justifié ce choix. Il a été suggéré que le coût de location d'une ligne téléphonique et des modems associés pour une saison des incendies est l'équivalent du coût de l'installation d'une liaison radio comprenant un répéteur. Actuellement, les liaisons terrestres de données sur la foudre, y compris les modems, sont louées pour 1000 dollars par mois environ.

Le matériel de détection de la foudre et de radar météorologique fournit les informations sur les orages et les précipitations. Malheureusement, ces conditions météorologiques constituent une source importante de problèmes de transmission de données quand on utilise des lignes terrestres. Le problème le plus courant est celui du bruit de ligne. Un autre problème, moins fréquent, mais grave, est celui de l'endommagement du matériel causé par les surtensions dues à la foudre sur les lignes de communication. Par conséquent, les informations les plus précieuses sont saisies quand les conditions de transmission des données sont les moins fiables. Il a été suggéré que le système de télémesure serait plus fiable que les lignes téléphoniques. Pour les régions ne bénéficiant d'aucun service de transmission de données, la justification serait simplement le manque de systèmes de communication de rechange.

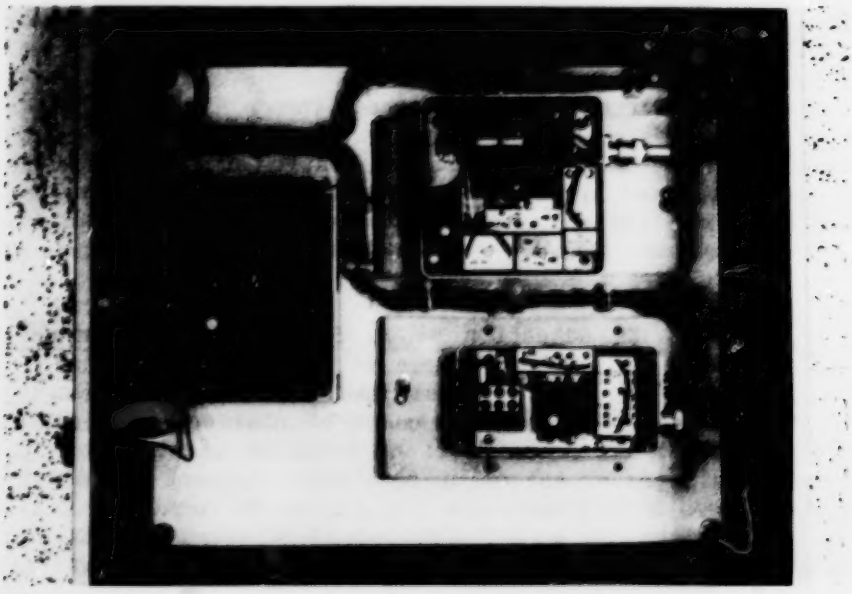
Il n'existe pas de ligne de conduite bien déterminée en ce qui concerne la transmission des données. Le personnel du ministère des Communications a déclaré que les demandes d'autorisation visant l'installation de systèmes semblables seraient jugées cas par cas. L'autorisation de mettre le système de télémesure en oeuvre a été donnée. La préparation des rapports et la procédure d'approbation ultérieure ont pris environ six mois.

INSTALLATION DU SYSTÈME EXPÉRIMENTAL DE TÉLÉMESURE

La compagnie Foundation Electronic Instruments Inc. a été chargée de modifier la conception de la carte du démodulateur. Elle a également établi la

configuration d'un émetteur, d'un récepteur et d'un répéteur comprenant un récepteur et un émetteur dos à dos. L'émetteur et le récepteur ont été installés à des endroits où l'on disposait d'alimentation en courant alternatif. Un panneau solaire a été utilisé pour l'alimentation des répéteurs. Deux batteries à électrolyte liquide, de 70 A-h assuraient une réserve de 10 jours et étaient chargées par un panneau solaire de 55 watts. Les appareils radio et leurs blocs d'alimentation associés ont été installés dans des abris compacts et étanches. Foundation Instruments a fourni des pièces de rechange et de la documentation officieuse sur le démodulateur modifié. Un deuxième répéteur a été construit par le technicien en radioélectronique de la SCO (se reporter à la figure 5).

Figure 5. Répéteur radio



Voici le coût du matériel:

Émmeteur à Le Domaine

émetteur radio	600 $
modification commercial de l'appareil radio (y compris l'emballage, le bloc d'alimentation et le circuit numérique)	900
deux antennes	230
câbles et connecteurs	50
pylône	200
Total	1980 $

Répéteur à Perdrix Blanche

émetteur radio	600 $
récepteur radio	800
modification commerciale de l'appareil radio	900
deux antennes	230
câblage et connecteurs	50
panneau solaire	800
batteries	200
nécessaire de montage du panneau solaire	200
Total	3780 $

Répéteur au lac Blue Sea

émetteur radio	600 $
récepteur radio	800
modification <<maison>> de l'appareil radio	200
deux antennes	250
panneau solaire	800
batteries	200
nécessaire de montage du panneau solaire	200
enceinte de protection	300
pylône	200
câblage et connecteurs	100
Total	3300 $

Récepteur à Maniwaki

récepteur radio	800 $
modification commerciale de l'appareil radio	900
pylône	100
câblage et connecteurs	50
une antenne	115
Total	1965 $

Le coût total du matériel pour le trajet s'élevait à 11 025 $.

Comme il existait une ancienne tour d'observation qui pouvait servir d'emplacement de répéteur, la liaison entre le goniomètre à Le Domaine et l'analyseur de position à Maniwaki a été choisie comme la première liaison à mettre en oeuvre. La liaison comportait trois bonds. Les trajets de signal résultants sont indiqués aux tableaux 2, 3 et 4.

Tableau 2. Calcul de transmission

TRAJET: Le Domaine vers Perdrix Blanche		
Hauteur effective de la station 1	13 m	
Hauteur effective de la station 2	160 m	
Distance en kilomètres	50 km	
Puissance de l'émetteur: 1 watt		0 dBW
Pertes dues au câble et aux connecteurs		-1,5 dB
Gain de l'antenne		12,0 dB
Puissance apparente rayonnée		10,5 dBW
Affaiblissement dans l'espace libre	dB	
Affaiblissement dû à une terre plate	-117,2 dB	
Affaiblissement dû aux obstructions	-9,5 dB	
Affaiblissement total de propagation		-126,7 dBw
Intensité du signal reçu		-116,2 dBW
Gain d'antenne		10,0 dB
Pertes dues au câble et aux connecteurs		-0,7 dB
Signal d'entrée du récepteur		-106,9 dBw
Signal minimal nécessaire		-137,0 dBw
Marge de protection contre les évanouissements		30,1 dB

Tableau 3. Calcul de transmission

TRAJET: De Perdrix Blanche au lac Blue Sea		
Hauteur effective de la station 1	152 m	
Hauteur effective de la station 2	50 m	
Distance en kilomètres	55 km	
Puissance de l'émetteur: 1 watt		0 dBW
Pertes dues au câble et aux connecteurs		-,5 dB
Gain de l'antenne		10,0 dB
Puissance apparente rayonnée		9,5 dBW
Affaiblissement dans l'espace libre	-117,0 dB	
Affaiblissement dû à une terre plate	dB	
Affaiblissement dû aux obstructions	dB	
Affaiblissement total de propagation		-117,0 dBw
Intensité du signal reçu		-107,5 dBW
Gain d'antenne		10,0 dB
Pertes dues au câble et aux connecteurs		-1,5 dB
Signal d'entrée du récepteur		-99,0 dBw
Signal minimal nécessaire		-137,0 dBw
Marge de protection contre les évanouissements		38,0 dB

Tableau 4. Calcul de transmission

TRAJET: Du lac Blue Sea à Maniwaki		
Hauteur effective de la station 1	200 m	
Hauteur effective de la station 2	10 m	
Distance en kilomètres	10 km	
Puissance de l'émetteur: 1 watt		0 dBW
Pertes dues au câble et aux connecteurs		-1,0 dB
Gain de l'antenne		10,0 dB
Puissance apparente rayonnée		9,0 dBW
Affaiblissement dans l'espace libre	-101,0 dB	
Affaiblissement dû à une terre plate	dB	
Affaiblissement dû aux obstructions	dB	
Affaiblissement total de propagation		-101,0 dBw
Intensité du signal reçu		-92,0 dBW
Gain d'antenne		10,0 dB
Pertes dues au câble et aux connecteurs		-0,75 dB
Signal d'entrée du récepteur		-82,75 dBw
Signal minimal nécessaire		-137,0 dBw
Marge de protection contre les évanouissements		53,75 dB

Avant l'installation, la performance du trajet de signal a été vérifiée en tentant une communication UHF en phonie au moyen d'appareils de poche dont la puissance et la sensibilité approchaient celles de la liaison radio. Des haut-parleurs miniatures ont été ajoutés aux récepteurs afin de permettre une vérification rapide de la performance des bonds individuels de répéteurs. Quand on fait fonctionner manuellement les haut-parleurs, la transmission des données peut être contrôlée sous la forme d'une série de tonalités audibles. L'utilisation des haut-parleurs est particulièrement précieuse aux emplacements de répéteur sans alimentation en courant alternatif et aux endroits où l'emploi d'un matériel d'essai perfectionné est malcommode. En outre, on peut évaluer la marge de protection contre les évanouissements en ajoutant un affaiblissement prédéterminé au trajet du signal et en contrôlant la dégradation de la réponse des tonalités.

Le matériel d'essai et d'accord est typique du matériel que l'on trouve dans la plupart des ateliers radio de protection des forêts. Il comprend un générateur de signaux, un moniteur de déviation, un bloc d'alimentation de 12 volts, un wattmètre, un oscilloscope et un voltmètre. Les circuits numériques nécessitent peu de réglage d'accord, puisque le seul réglage est celui d'un potentiomètre de déviation sur la carte du modulateur. Les appareils radio ont été accordés en suivant les instructions du fabricant. L'accord et le fonctionnement des modules de puissance M7 et M8 de l'émetteur ont présenté quelques difficultés. Dans quelques cas, la puissance des modules avait tendance à diminuer sur une certaine période de temps. Un simple contact avec un potentiomètre de réglage rétablissait la puissance. Ces modules ont été jugés défectueux et ont été remplacés.

L'émetteur se trouvait dans le même bâtiment que le goniomètre de détection de la foudre, à Le Domaine. Le goniomètre était muni d'un câble diviseur en Y de la norme RS232. Par conséquent, la sortie des données se faisait simultanément sur la ligne téléphonique et sur la liaison radio. Étant donné les limites du modem de la ligne téléphonique, les données étaient transmises à 300 bauds.

Comme le trajet de signal entre Le Domaine et Perdrix Blanche était de qualité marginale, tout le matériel à l'emplacement du répéteur a été installé dans la coupole de la tour d'observation, ou à proximité, dans le but de minimiser la perte de signal dans le câble. Les batteries et le répéteur ont été placés dans la coupole de la tour d'observation. Le fabricant de panneaux solaires recommande d'installer les panneaux à moins de 8 mètres des batteries. Les panneaux solaires ont été installés sur la structure de la tour, à la base de la coupole. Les antennes de réception et d'émission ont été montées au-dessus de la coupole, avec un espacement de 8 mètres l'une de l'autre. À l'emplacement de répéteur du lac Blue Sea, tout le matériel a été placé dans un refuge, à la base d'une tour de 50 pieds. Le panneau solaire a été installé sur un petit cadre, près du sol et à côté du refuge. Les antennes étaient espacées de 8 mètres.

Les données provenant du goniomètre de détection de la foudre devaient être transmises à l'analyseur de position se trouvant dans le centre d'exploitation de Maniwaki. L'antenne réceptrice était installé sur le toit du centre et le récepteur radio sur une paroi du bureau. Une paire de fils, de 15 mètres de long, transmettait le signal de données RS232 entre le récepteur et l'analyseur de position. Des expériences ont montré que si l'on utilisait du câble de très bonne qualité, la distance entre le récepteur et

l'analyseur de position pouvait atteindre au moins 100 mètres. L'analyseur de position peut accepter les données provenant de quatre goniomètres. La SCO exploite un réseau de trois goniomètres; par conséquent, un accès (une fente) était disponible pour la liaison radio. Comme la liaison radio ne produit pas de signal DTR (<<Data Terminal Ready>> ou terminal de données prêt), un cavalier a été placé dans le connecteur du câble radio, pour obtenir un tel signal DTR. Ainsi, l'analyseur de position était raccordé au goniomètre à Le Domaine par deux voies de données distinctes, mais parallèles - l'une par ligne terrestre classique et l'autre par système radio UHF.

L'analyseur de position possède plusieurs caractéristiques de logiciel qui permettent la vérification visuelle des données et leur comparaison. Ces caractéristiques comprennent une copie papier des données brutes dans la structure d'enregistrement et une copie des données <<en entrée>> en trains d'octets (chiffres individuels) avec drapeaux d'erreur. Dans les drapeaux d'erreur sont comprises les erreurs d'encadrement, de parité et de perte de données. Les bits d'encadrement indiquent le début et la fin des données, tandis que la vérification de parité permet de déterminer si la configuration binaire s'est modifiée pendant la transmission. L'analyseur de position fournit aussi un contrôle automatique des erreurs. Pendant une période donnée, le compte des erreurs de transmission des données est indiqué par le message d'état du goniomètre. Ces erreurs comprennent les caractères interdits, les nombres interdits de caractères, le dépassement de capacité d'encadrement ou de données et la parité longitudinale. En outre, l'analyseur de position était relié directement au mini-ordinateur principal de la SCO (PDP 11/44). Cette liaison permettait le stockage permanent sur disque de toutes les données reçues de Le Domaine et permettait de contrôler la performance de la liaison radio pendant une saison complète des incendies.

RÉSULTATS

Le système a été installé en septembre 1984. Le tableau 5 est un exemple d'imprimé des données <<en entrée>> pour les voies de données parallèles provenant de Le Domaine. Le premier chiffre est le numéro d'identification du goniomètre. Le chiffre 3 indique la ligne téléphonique provenant de Le Domaine et le chiffre 4 la liaison radio provenant du même endroit. Les deux chiffres qui suivent sont les nombres/caractères produits par le goniomètre. Les résultats de la colonne A indiquent que la liaison radio fonctionne de manière satisfaisante. Les caractères reçus par liaison radio sont identiques aux caractères reçus par ligne téléphonique. La colonne B donne un exemple des erreurs produites par la liaison radio. Les résultats de la colonne B indiquent les essais d'utilisation de la liaison radio qui ont échoué, à cause d'un mauvais trajet de signal, du manque de puissance de l'émetteur, du bruit ou d'appareils radio mal accordés. Les erreurs comprennent les nombres interdits, les pertes de données et le dépassement de capacité des données. Le nombre 20 dans la colonne B indique des erreurs d'encadrement.

Le contrôle des données <<en entrée>> a permis l'évaluation en temps réel de la performance du système. Par exemple, si l'on suspectait que d'autres émissions radio causaient des erreurs de données dans le système de télémesure, les données en entrée étaient contrôlées pour voir s'il y avait des erreurs au moment de la transmission. Étant donné la grande quantité d'imprimés produite, le contrôle des données en temps réel n'a été utilisé que pour des vérifications ponctuelles de la performance de la liaison radio.

Tableau 5. Données <<en entrée>> provenant de la liaison radio et de la liaison téléphonique en parallèle

	Colonne A (données fiables)	Colonne B (données non fiables)
Liaison radio	4 96	4 96
Ligne téléphonique	3 96	3 96
	4 5F	4 6F
	3 5F	3 6F
	4 00	4 E0
	3 00	3 00
	4 00	3 00
	3 00	4 23 20
	4 19	3 1A
	3 19	3 08
	4 08	4 EF 20
	3 08	3 14
	4 27	4 E6
	3 27	3 00
	4 00	
	3 00	

Les tableaux 6 à 9 décrivent la performance du système de télémesure pendant 8 heures. Les résultats figurent dans le message d'état du goniomètre donné par l'analyseur de position. Les colonnes intitulées ERRORS (erreurs) présentent un intérêt particulier. Ces colonnes contiennent le nombre total d'erreurs de transmission détectées par l'analyseur de position pour des accès individuels du goniomètre. La vérification des données <<en entrée>> porte sur les caractères interdits, les nombres interdits de caractères, les erreurs de dépassement de capacité d'encadrement ou de données et sur la parité longitudinale. Le contrôle des erreurs est automatiquement initialisé à minuit et les comptes d'erreurs se font de minuit jusqu'au moment où un message d'état est demandé.

En plus d'envoyer des informations sur les coups de foudre, les goniomètres envoient des informations d'état toutes les 10 secondes. La colonne A du tableau 5 est la représentation en caractères d'un tel message. Ainsi, dans une période de 8 heures, si aucun coup de foudre n'est détecté, 400 000 bits d'information d'état sont transmis par le goniomètre. La colonne SEEN (détectés) donne le nombre de coups de foudre signalés par un accès de communication. À chaque coup de foudre correspondent 176 bits. Les goniomètres 1, 2 et 3 (colonne DF) sont liés à l'analyseur de position par ligne téléphonique, tandis que le goniomètre 4 est lié par radio.

Pour les journées des 6, 7 et 10 septembre, la plupart des liaisons présentent une bonne fiabilité, avec une seule erreur ou même aucune. Le taux

Tableau 6. Tableau résumé des erreurs

6 septembre 1984

**********État du goniomètre**********

NOM	GONIO-MÈTRE	HEURE DE LA DERNIÈRE VÉRIFICATION	MILLISECONDES	TENSION	DÉTECTÉS	PERDUS	ERREURS
ANLYSR POS	0	08:43:04,609					
MANIWAKI	1	08:43:03,649	512	1027	1	0	1
COULONGE	2	08:42:46,341	364	1020	7	0	0
LE DOMAINE	3	08:42:47,738	356	1025	58	0	1
LIAISON RADIO	4	08:42:47,726	356	1025	58	0	1

Tableau 7. Tableau résumé des erreurs

7 septembre 1984

**********État du goniomètre**********

NOM	GONIO-MÈTRE	HEURE DE LA DERNIÈRE VÉRIFICATION	MILLISECONDES	TENSION	DÉTECTÉS	PERDUS	ERREURS
ANLYSR POS	0	08:00:44,053					
MANIWAKI	1	08:00:40,206	512	1026	0	0	0
COULONGE	2	08:00:44,662	364	1021	2	0	521
LE DOMAINE	3	08:00:39,715	356	1041	38	0	1
LIAISON RADIO	4	08:00:39,703	356	1041	38	0	1

Tableau 8. Tableau résumé des erreurs

10 septembre 1984

**********État du goniomètre**********

NOM	GONIO-MÈTRE	HEURE DE LA DERNIÈRE VÉRIFICATION	MILLISECONDES	TENSION	DÉTECTÉS	PERDUS	ERREURS
ANLYSR POS	0	07:54:20,707					
LE DOMAINE	3	07:54:07,149	356	1049	51	0	0
LIAISON RADIO	4	07:54:07,137	356	1049	51	0	0

Tableau 9. Tableau résumé des erreurs

11 septembre 1984

**********État du goniomètre**********

NOM	GONIO-MÈTRE	HEURE DE LA DERNIÈRE VÉRIFICATION	MILLISECONDES	TENSION	DÉTECTÉS	PERDUS	ERREURS
ANLYSR POS	0	08:10:48,441					
MANIWAKI	1	08:10:45,361	512	1027	0	0	0
COULONGE	2	08:10:25,273	364	1020	9	0	0
LE DOMAINE	3	08:10:49,710	356	1033	37	0	0
LIAISON RADIO	4	08:10:49,698	356	1033	35	0	24

d'erreurs sur les bits peut s'exprimer comme étant de 0 ou 1 sur 400 000. Un taux d'erreurs sur les bits de 1 sur 1 000 000 sert souvent de référence de performance acceptable pour les lignes de transmission. L'unique exception s'est produite le 7 septembre, quand l'analyseur de position a détecté 521 erreurs sur la ligne téléphonique entre Fort Coulonge et Maniwaki. Le 11 septembre, une certaine dégradation de la performance de la liaison a été notée, alors que 24 erreurs et la perte de deux coups de foudre ont été détectées par l'analyseur de position.

DISCUSSION

Les trois premiers des quatre objectifs ont été atteints. Un système de télémesure a été conçu, a fait l'objet d'une licence et a été installé.

La conception particulière du système dépendait de l'application, des contraintes existantes telles que la disponibilité des fréquences et le trajet du signal, ainsi que des contraintes imposées, telles que le budget et les niveaux minimaux de performance. Diverses solutions devraient être prises en considération, le cas échéant. Il pourrait être possible d'obtenir des coûts plus faibles du matériel radio et moins de restrictions du point de vue du trajet du signal en utilisant la bande VHF. Mais on doit noter qu'il pourrait être plus difficile d'obtenir des fréquences VHF. Des appareils radio autres que le modèle Repco peuvent être employés. Les liaisons de données peuvent comporter un mélange de liaisons radio et de lignes terrestres. Il existe du matériel perfectionné et des techniques qui permettent d'optimiser l'utilisation des radiofréquences. Ces techniques comprennent la vérification des erreurs, le partage des fréquences, des techniques perfectionnées de modulation et la technique de l'interrogation. D'une manière générale, le perfectionnement peut s'obtenir avec une certaine augmentation des coûts.

L'autorisation de la mise en oeuvre d'un système est un procédé long mais relativement simple. De nombreuses lignes directrices décrivent les règlements et les normes du MDC. Si les appareils radio sont certifiés pour les communications en phonie, il peut ne pas être nécessaire d'obtenir l'homologation aux fins de transmission de donneés. La technique de modulation est le facteur déterminant. Les essais sur l'appareil radio DOE-406 ont été effectués dans un laboratoire privé, au coût de 800 $. Le MDC offre le même service à un coût semblable. Avant d'effectuer d'importantes dépenses, ou de prendre des engagements d'envergure, il faudrait obtenir officieusement l'opinion du MDC sur la configuration envisagée.

La mise en oeuvre du système a exigé une aide importante de l'organisme de gestion des incendies. Un hélicoptère a servi à installer les répéteurs. L'expertise de la SCO en matière de communications en phonie et son matériel d'essai ont joué un rôle vital dans la mise en oeuvre du système. S'il fallait obtenir ces ressources par contrat spécial, la plupart, sinon la totalité des avantages économiques seraient perdus. La justification du système se limiterait à un manque de solutions de rechange en matière de communications. Toutefois, la SCO maintient un réseau perfectionné de radiocommunications en phonie, et l'appui de la liaison radio de transmission de données a été considérée comme une extension de ce service.

Le dernier but, soit l'évaluation du système et de la possibilité de l'utiliser, a été, en partie, atteint. Le système a été démantelé à la mi-septembre, parce que le contrat relatif à l'hélicoptère se terminait. Les premiers résultats, couvrant une période de deux semaines environ, indiquent que la liaison radio s'est généralement comportée aussi bien que les lignes téléphoniques et même, dans un cas, mieux qu'elles. En outre, les résultats correspondent à des jours où une activité orageuse s'est produite. Le taux d'erreurs du 11 septembre est un peu préoccupant. Le système sera installé de nouveau pour la prochaine saison des incendies. Les taux d'erreurs sur de longues périodes de temps nous intéressent. Si des erreurs importantes se produisent régulièrement, soit plus de 1 dans 1 million de bits, nous tenterons d'isoler la source d'erreur. Nous nous intéressons à la marge de protection contre les évanouissements, ainsi qu'au brouillage provenant de réseaux existants de radiocommunications en phonie, à la foudre, aux conditions atmosphériques et au radar dans la bande X. Cependant, comme le système a bien fonctionné pendant la période de deux semaines, on suppose que le brouillage provenant d'autres équipements sera minimal.

Le système est conçu pour fonctionner sans surveillance pendant une saison des incendies complète. L'entretien minimal consiste à installer le système au printemps et à le retirer à l'automne. Il faudrait garder un stock de modules radio de rechange. Le dépannage consiste habituellement à identifier un appareil radio défectueux par la tonalité de donnée manquante et à remplacer le module défectueux. D'une manière générale, l'entretien du système est semblable à celui des systèmes de radiocommunications en phonie, dans le sens où les câbles, les connecteurs, les antennes, les blocs d'alimentation et le matériel radio doivent être entretenus.

Les résultats préliminaires de la performance du système de télémesure mentionnés dans le présent document indiquent que, pour une période de temps limitée, les données peuvent être transmises de manière économique et fiable, et continuellement, par liaison radio UHF. Si le système s'avère fiable à long terme, il pourra constituer une solution aux problèmes associés à la capture des données dans les régions éloignées. Les facteurs économiques des applications particulières, la possibilité d'appui et la disponibilité des fréquences sont les principaux facteurs qui déterminent la faisabilité de l'installation de systèmes semblables.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Prudhomme et A. Geggie de la Société de Conservation de l'Outaouais, à Maniwaki (Québec) de leur aide lors de l'installation et du contrôle du système de télémesure. F. Kollar du ministère fédéral de l'Énergie, des Mines et des Ressources nous a donné de précieuses observations et suggestions et J. Bussière, du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (Québec) nous a aidés à préparer le mémoire technique.

RÉFÉRENCES

American Radio Relay League. 1982. The Radio Amateur's Handbook. Newington, Conn.

Bullington, K. 1957. Radio Propagation Fundamentals. The Bell System Technical Journal. 36: 593-626.

Chinnick, J.H. 1982. Engineering Report on Tests Conducted on Modified Repco Radios. Foundation Electronic Instruments Inc., Ottawa, Ont., FI Reference 82-800-80.

General Electric Company. 1962. VHF and UHF Propagation. Datafile Bulletin 1003-1. Datafile, Lynchburg, Va.

Meldrum, R.D. 1980. Engineering Brief: 450 MHz Telemetry System for Lower Mainland Seismic Array. Department of Geophysics and Astronomy, University of British Columbia.

Meteor Communications Consultants, Inc. 1981. An Introduction to Meteor Burst Communications. Kent, Wash.

Mroske, B.E.; Bussiere, J. 1983. Engineering Brief: UHF Telemetry System for Lightning Data Transmission. Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst.

ANNEXE I
Radiocommunications numériques et modulation/démodulation

Un mode numérique d'exploitation ou les radiocommunications numériques peuvent avoir plusieurs définitions. Aux fins du présent document, les radiocommunications numériques font appel à la modification instantanée de la radiofréquence d'exploitation par un circuit modulateur. Voici une brève description de la modulation et de la démodulation.

Les données informatiques sont représentées, sous leur forme la plus simple, par une série de uns et de zéros ou par une série d'impulsions tout ou rien. Les uns et les zéros sont des chiffres binaires ou bits. Les données sont stockées et manipulées de cette manière parce que la plupart des machines (ou dispositifs) peuvent retenir avec fiabilité un état parmi deux, comme une valeur positive ou négative, ou un niveau haut ou bas de tension. Dans le domaine de lá transmission des données, les uns et les zéros sont souvent appelés des signaux <<travail>> et <<repos>>. Le matériel électronique utilise souvent deux niveaux de tension pour représenter les signaux <<travail>> et <<repos>>.

Des circuits électroniques appelés <<modems>> (modulateurs-démodulateurs) modifient les données numériques (impulsions tout ou rien) en une forme d'onde pouvant être transmise par radiofréquence, et ils restituent la forme numérique d'origine à un emplacement récepteur. Les données sont incluses (codées) dans la radiofréquence en modifiant systématiquement une caractéristique de la forme d'onde radiofréquence. La fréquence ou la phase est souvent décalée pour donner une représentation tout ou rien. Ce procédé est appelé la modulation. Si la fréquence est décalée, la radiofréquence va prendre une certaine valeur pour le un et une autre pour le zéro. La modification de la fréquence de cette manière est appelée modulation par déplacement de fréquence (FSK). Si la radiofréquence est décalée directement par le circuit de modulation, par opposition au décalage effectué par une fréquence de bande de base, la technique de modulation est qualifiée de directe. La démodulation consiste à décoder la radiofréquence et à restituer le modèle d'origine de uns et de zéros. Le système de télémesure décrit dans le présent document utilise la modulation FSK directe.

ANNEXE II
Notions de transmission par radio

La distance sur laquelle un système radio peut transmettre des données dépend de la puissance d'émission, de la sensibilité du récepteur, de la radiofréquence d'exploitation et de la perte de puissance d'émission entre l'émetteur et le récepteur. Une unité couramment utilisée pour exprimer la perte de puissance et le gain, ainsi que la sensibilité d'un récepteur est le décibel (dB). Le décibel est le rapport logarithmique entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, multiplié par dix. Ainsi, si la puissance de sortie est égale à deux fois la puissance d'entrée, le gain est de 3 dB. Le facteur de multiplication est de vingt pour les rapports de tension et de courant. Les pertes de puissance sont précédées du signe moins. Un rapport de tension de 1 à 10 est donc égal à -20 dB. La puissance d'émission en watts et la sensibilité du récepteur en microvolts sont converties en décibels. Les notations dBW et dBV sont des valeurs en décibels relatives à des rapports en watts et en volts.

La puissance disponible du signal au récepteur se calcule en soustrayant les pertes de puissance sur le trajet du signal de la puissance présente dans le système. Le chiffre qui en résulte est la <<marge de protection contre les évanouissements>> qui se définit comme la quantité de puissance de réserve en dB disponible à un récepteur pour surmonter les effets des évanouissements atmosphériques brusques. Plus la marge de protection contre les évanouissements est grande, plus le taux d'erreurs sur les données est faible. Des marges de protection contre les évanouissements comprises entre 20 et 30 dB sont des minimums admissibles typiques.

La puissance disponible dans un système dépend de la sensibilité du récepteur, de la puissance de l'émetteur et du gain d'antenne. Ces spécifications sont fournies par le fabricant. Les pertes de puissance entre l'émetteur et le récepteur (pertes dues au trajet du signal) proviennent de diverses influences de l'environnement, telles que l'atmosphère et le terrain, ainsi que du matériel de raccordement, comme les câbles et les connecteurs. Il existe des formules et des tables qui donnent des approximations raisonnables des pertes dues au trajet du signal. Les articles de Bullington (1957) et de la General Electric (1962) discutent de la propagation des ondes radioélectriques. Le manuel des radioamateurs (Radio Amateur's Handbook) donne des renseignements sur les pertes dues aux câbles et aux connecteurs.